



KAJIAN ENERGI MESIN PEMBEKU LEMPENG SENTUH DENGAN PENURUNAN SUHU MEDIA BERTAHAP

Budi Hariono^{#1}, Abi Bakri^{#2}, Bayu Rudiyanto^{##3}

[#]Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember, Jl. Mastrip Kotak Pos 164 Jember

^{##}Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Jember, Jl. Mastrip Kotak Pos 164 Jember

¹budi_hariono@yahoo.com

@bayu.poltek02@gmail.com

Abstract

Pembekuan yang dilakukan pada saat ini merupakan pembekuan yang menggunakan suhu tetap mulai dari awal proses pembekuan bahan pangan sampai dalam kondisi beku. Penggunaan energi pada pembekuan konvensional yang menggunakan suhu tetap, memiliki konsumsi energi yang kurang efisien karena pada setiap fase penurunan suhu bahan memerlukan energi yang berbeda-beda. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan mesin pembeku lempeng sentuh dengan sistem penurunan suhu media secara bertahap namun hanya menggunakan satu buah evaporator tanpa *conveyor* untuk menciptakan penurunan suhu media secara bertahap. Berdasarkan pengujian, nilai COP mesin pembeku evaporator tunggal menghasilkan nilai sebesar 4,13 sampai 4,39. Sedangkan kinerja mesin pembeku menurut nilai laju pembekuannya tergolong dalam pembekuan cepat yaitu sebesar 0,98 sampai 1,43 cm/jam. Perlakuan dengan suhu media bertahap berada pada kondisi paling efisien dalam penggunaan energinya daripada tanpa penurunan suhu bertahap. Pembekuan dengan metode bertahap mampu memberikan nilai penghematan energi listrik sebesar 19,22 sampai 24,41 % dibandingkan pembekuan konvensional biasa. Perlakuan suhu media bertahap terbaik terjadi pada perlakuan pertama yaitu pada suhu media -5 °C, -15 °C dan -20 °C dengan nilai COP sebesar 4,35, laju pembekuan 1,43 cm/jam dan konsumsi energi listrik sebesar 0,6233 kWh. Secara rata-rata, kinerja dan penggunaan energi listriknya mampu lebih baik dan lebih hemat energi daripada mesin pembeku multi evaporator Chusni. Rata-rata COP sebesar 4,30 dan laju pembekuannya sebesar 1,10 cm/jam dan mampu lebih menghemat penggunaan energi listrik sebesar 68,05 % daripada mesin pembeku multi evaporator Chusni.

Keyword-Mesin Pembeku, Lempeng Sentuh, Pembekuan Bertahap, Efisien

I. PENDAHULUAN

Pembekuan merupakan metode yang sangat baik untuk pengawetan sebuah produk bahan pangan. Proses pembekuan tidak memiliki pengaruh yang berarti terhadap rasa, warna dan kadar jus buah setelah pemasakan, tetapi penyimpanan beku dapat mengakibatkan penurunan daya terima bau dan rasa. Nilai nutrisi daging secara relatif tidak mengalami perubahan selama pembekuan dan penyimpanan beku dalam jangka waktu terbatas (Soeparno, 1994). Pembekuan yang dilakukan pada saat ini merupakan pembekuan yang menggunakan suhu tetap mulai dari awal proses pembekuan bahan pangan sampai berada dalam kondisi beku. Penggunaan energi pada pembekuan konvensional yang menggunakan suhu tetap, memiliki konsumsi energi yang kurang efisien

karena pada setiap fase penurunan suhu bahan memerlukan energi yang berbeda-beda menurut Bruttini et al (2001) dan Tambunan et al (2003). Tambunan et al (2003) menyatakan bahwa kehilangan eksergi rata-rata tahap *pre-cooling* sebesar 22,9 kJ/kg, tahap *freezing* 24,8 kJ/kg, dan tahap *sub-cooling* 5,43 kJ/kg atau secara presentase kehilangan eksergi tahap *pre-cooling* sebesar 43,1% dari total kehilangan eksergi, dan tahap *freezing* 46,7 %, serta 10,2 % pada tahap *sub-cooling*. Sehingga perlu adanya sebuah metode pembekuan yang lebih efisien dalam penggunaan energi pada setiap fase penurunan suhu bahannya.

Penggunaan *conveyor* pada mesin pembeku lempeng sentuh Kamal (2008) dan Chusni (2009) mengakibatkan

peningkatan suhu media pembeku saat bahan pangan digerakkan untuk menghasilkan pembekuan dengan suhu media bertahap. Penggunaan *conveyor* juga menambah daya konsumsi energi listrik karena penggunaan *conveyor* menggunakan tambahan motor listrik untuk menggerakkan bahan pangan. Disain ruang pembeku dan juga pintu masukan bahan produk yang tidak terisolasi secara baik juga mengakibatkan masuknya panas dari luar menuju ruang pembeku.

Berdasarkan hal tersebut, peneliti mencoba untuk mengembangkan mesin pembeku lempeng sentuh dengan metode yang sama, namun hanya menggunakan satu buah evaporator dan tidak menggunakan *conveyor* untuk menciptakan penurunan suhu media secara bertahap, melainkan menggunakan pengaturan suhu media melalui kontrol PI yang dihubungkan dengan jalur masuk 3 katup ekspansi melalui *solenoid valve* sebelum menuju evaporator. Tujuan pembuatan dan penelitian mesin pembeku lempeng sentuh evaporator tunggal, bertujuan untuk menciptakan dan mengembangkan mesin pembeku lempeng sentuh dengan penurunan suhu media secara bertahap yang lebih hemat energi daripada penelitian terdahulu. Sehingga, penelitian ini akan memberikan gambaran mengenai rancangan mesin pembeku lempeng sentuh evaporator tunggal dengan penurunan suhu media bertahap dalam menghemat penggunaan energi listrik untuk mengawetkan suatu bahan pangan.

II. METODOLOGI

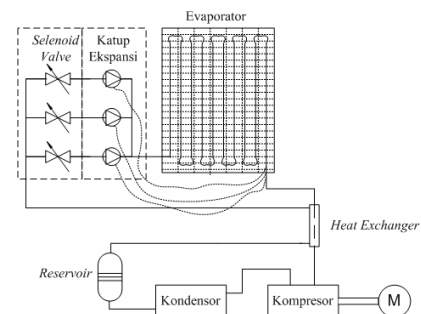
Penelitian diawali dengan melakukan studi kepustakaan dan menghitung besar beban pendinginan yang terdiri dari beban akibat konveksi dan konduksi pada *box* pembeku dan beban produk. Selanjutnya hasil perhitungan akan dijadikan tolak ukur kelayakan penggunaan kompresor dan komponen lainnya, sebelum dilakukan perakitan dan manufaktur mesin pembeku. Mesin pembeku yang digunakan merupakan mesin pendingin kompresi uap konvensional yang dimodifikasi menjadi mesin pembeku lempeng sentuh dengan suhu media bertahap. Peralatan yang digunakan untuk memodifikasi mesin pendingin kompresi uap konvensional menjadi mesin pembeku lempeng sentuh meliputi: Las Asitelin+Pakan las perak, Kunci pas ukuran 10 dan 12, Kunci inggris, Pemotong pipa tembaga, *Bending* pipa tembaga, *Flaring Tools*, Tang cucut, Penggaris dan Bolpoin. Sedangkan alat yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian meliputi: Injektor refrigeran, Pompa vakum, 2 buah Thermokopel tipe K, kWh meter, Timbangan digital, *Stopwatch* dan Laptop. Komponen-komponen yang digunakan untuk bahan manufaktur terdiri dari komponen-komponen yang dipilih berdasarkan perhitungan beban pendinginan serta penyesuaian dengan ketersediaan komponen yang sebagian besar merupakan komponen dari mesin pendingin kompresi uap

konvensional dan bahan yang digunakan sebagai bahan uji yaitu refrigeran R-134a dan daging sapi seberat 40 gram dengan ketebalan 1cm.

Seluruh parameter kondisi bahan pangan dan kombinasi penurunan suhu media pembeku didekatkan pada penelitian Chusni tahun 2009, sehingga akan didapatkan hasil perbandingan data kinerja mesin pembeku lempeng sentuh berupa nilai COP dan laju pembekuan serta nilai penggunaan energi listrik yang dihasilkan oleh mesin pembeku hasil modifikasi dari mesin pendingin kompresi uap konvensional dengan mesin pembeku lempeng sentuh yang telah diuji oleh Chusni tahun 2009 yang berupa mesin pembeku lempeng sentuh multi evaporator. Berikut tabel perlakuan yang digunakan pada penelitian dengan mengacu pada skenario yang digunakan Chusni tahun 2009.

Penurunan suhu media pembekuan secara bertahap dilakukan dengan menempatkan tiga katup ekspansi termostatik yang digunakan secara bergantian sesuai dengan kebutuhan pengkondisian suhu pada media pembeku yang berupa plat tembaga. Penggunaan bergantian katup ekspansi dilakukan dengan bantuan kontrol PI yang sudah diatur sesuai dengan *set point* yang diinginkan. Langkah awal, mesin pembeku dijalankan sampai dengan suhu media pembeku pada tahap I sudah mulai konstan, lalu bahan pangan yang akan dibekukan diletakkan dan disentuhkan secara langsung pada plat tembaga yang telah tertempel dengan evaporator. Pergantian penggunaan katup ekspansi dilakukan berdasarkan pada ketercapaian suhu bahan pangan. Penggunaan katup ekspansi A digunakan sampai suhu bahan pangan tengah berada pada suhu $\leq 0^{\circ}\text{C}$. Selanjutnya katup ekspansi B bekerja sampai suhu bahan pangan atas $\leq -5^{\circ}\text{C}$ dan selanjutnya katup ekspansi C bekerja selama 60 menit sampai suhu bahan pangan membeku dibawah -5°C . Pencatatan seluruh pengukuran dilakukan selama 5 menit sekali sampai bahan mengalami pembekuan.

Berikut gambar 1. merupakan gambar model rancangan dari mesin pembeku lempeng sentuh dengan penurunan suhu media secara bertahap menggunakan evaporator tunggal yang dikontrol oleh kontrol PI.

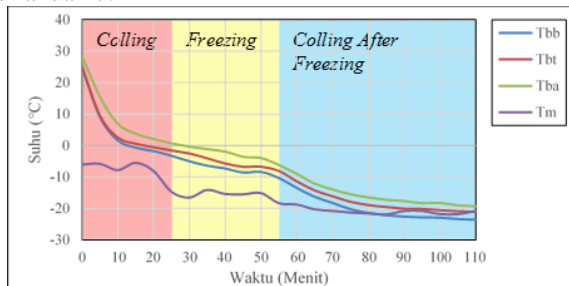


Gambar 1. Model rancangan mesin pembeku lempeng sentuh evaporator tunggal

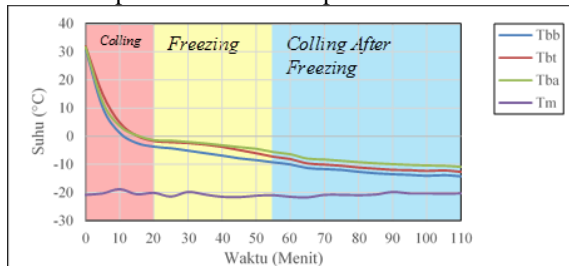
III. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

Profil Suhu Bahan dan Media Pembeku Terhadap Waktu

Berdasarkan hasil pengujian pada 7 perlakuan dengan 3 pengulangan yang dilakukan pada mesin pembeku lempeng sentuh penurunan suhu bertahap dengan menggunakan evaporator tunggal, didapatkan hasil profil penurunan suhu bahan yang dibekukan dari kondisi awal suhu bahan sampai berada pada kondisi dibawah proses pembekuan bahan. Penentuan penganalisaan data profil suhu bahan dari 3 kali pengulangan pada setiap perlakuannya ditentukan dari hasil data paling baik dari ketiga pengulangan tersebut. Berikut profil penurunan suhu bahan pada hasil pengulangan data terbaik pada perlakuan pembekuan bertahap yang terjadi pada perlakuan 1 dengan suhu media -5, -15 dan -20 °C dan profil suhu bahan pada perlakuan tidak bertahap pada perlakuan 7.



Gambar 2. Grafik profil penurunan suhu bahan perlakuan 1 (-5 °C, -15 °C, -20 °C) yang dilakukan dengan metode pembekuan bertahap



Gambar 3. Grafik profil penurunan suhu bahan perlakuan 7 (-20 °C, -20 °C, -20 °C) yang dilakukan dengan metode tanpa pembekuan bertahap

Terlihat pada gambar 2 dengan metode pembekuan bertahap memperlihatkan adanya penurunan suhu bahan yang bertahap dan membentuk fase anak tangga, sedangkan pada gambar 3 dengan metode pembekuan tanpa bertahap, menghasilkan profil suhu bahan yang cenderung terus turun suhunya dari kondisi suhu awal sampai berada dibawah proses pembekuan. Penurunan suhu bahan yang bertingkat ini diakibatkan adanya

perbedaan suhu media pada setiap tahapan penurunan suhu bahan sampai mencapai suhu dibawah pembekuan bahan. Penurunan bertingkat yang membentuk fase anak tangga menunjukkan adanya pelepasan nilai kalor bahan secara bertahap pada setiap fasenya, mulai dari pelepasan kalor menuju lempeng secara sensibel pada tahap pertama yaitu tahap pendinginan, lalu pelepasan kalor secara laten pada tahap kedua yang dibuktikan dengan kestabilan suhu bahan produk saat berada pada titik 0 sampai -5 °C dan pelepasan kalor dibawah titik beku pada tahap selanjutnya.

Berdasarkan gambar 2 dan 3 grafik profil penurunan suhu bahan juga sangat tampak jelas terdapat adanya persebaran suhu bahan yang tidak merata pada titik bawah, tengah sampai titik atas bahan. Persebaran suhu yang tidak merata yang terjadi disebabkan karena perpindahan panas yang terjadi pada mesin pembeku lempeng sentuh hanya terjadi pada proses konduksi saja sehingga titik bawah bahan (T_{bb}) selalu berada pada posisi paling dingin dan semakin meningkat pada sisi atas bahan (T_{ba}). Persebaran perbedaan suhu bawah bahan dengan posisi teratas bahan, paling besar terjadi pada proses penurunan suhu bahan awal (± 30 °C) sampai titik awal proses pembekuan (0 °C) dan semakin kecil perbedaan suhunya pada saat proses pembekuan berlangsung (0 °C sampai -5 °C) sampai proses pendinginan dibawah proses pembekuan (< -5 °C). Hal ini dapat dianalisa bahwa nilai konduktivitas bahan daging sapi berbeda-beda pada setiap fase perubahan suhu bahannya. Secara teori analisa ini diperkuat dengan karakteristik sifat fisik daging sapi yang memiliki nilai konduktivitas termal sebesar 0,45 W/m.°K pada kisaran suhu 0 sampai 30 °C, sedangkan pada suhu -5 °C konduktivitasnya adalah 1,10 W/m.°K (Pham dan Willix, 1989).

Secara keseluruhan dari seluruh perlakuan menunjukkan adanya durasi waktu yang lebih lama pada saat proses penurunan suhu bahan 0 sampai -5 °C. Waktu penurunan suhu dari 0 menuju -5 °C memiliki waktu yang lebih lama daripada penurunan suhu bahan dari kondisi awal bahan 30 sampai 0 °C dan penurunan suhu bahan setelah -5 °C. Lamanya waktu menurunkan suhu bahan pada saat konduktivitas bahan lebih cepat daripada konduktivitas bahan pada suhu lainnya, dapat dianalogikan bahwa pada saat penurunan suhu 0 sampai -5 °C merupakan proses yang memerlukan nilai kalor yang paling besar daripada fase penurunan suhu lainnya.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan dari ke tujuh perlakuan yang diuji pada mesin pembeku lempeng sentuh dapat disimpulkan bahwa:

- Nilai COP sebesar 4,13 sampai 4,49. COP dari mesin pembeku lempeng sentuh tidak berpengaruh terlalu besar terhadap metode pengaturan suhu media yang



digunakan, melainkan lebih cenderung dipengaruhi oleh nilai kelembapan lingkungan sekitar. Semakin besar kelembapan lingkungan sekitar semakin tinggi pula nilai COP dari mesin pembeku lempeng sentuh.

- b. Laju pembekuan dari mesin pembeku lempeng sentuh evaporator tunggal menghasilkan nilai laju pembekuan yang tergolong dalam pembekuan cepat sebesar 0,98 sampai 1,43 cm/jam.
- c. Pembekuan dengan metode bertahap mampu menghematan energi listrik sebesar 19,22 sampai 24,41 % daripada mesin pembeku lempeng sentuh tanpa bertahap.

Tressler, D.K., Arsdell W.B. dan Copley M.J. 1981. "The Freezing Preservation of Food". *AVI Pub. Co.* Vol II. Westport. Connecticut. USA.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Ristek dan Pendidikan Tinggi melalui Penelitian Hibah Bersaing Usulan Tahun 2015.

DAFTAR PUSTAKA

- Bruttini R, Crosser OK, dan Liapis AI. 2001. "Exergy analysis for the freezing stage of the freeze drying process". *Journal of Drying Technology*. 19(9): 2303.
- Chusni, A.R. 2009. *Kajian Energi dan Eksergi Pembekuan Daging Sapi Menggunakan Mesin Pembeku Tipe Lempeng Sentuh dengan Suhu Pembekuan Bertingkat*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor.
- Holman, J.P. 2010. *Heat Transfer*. Tenth Edition. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Kamal, D.M. 2008. *Pemodelan Sistem Pembekuan dengan Suhu Media Pembeku Bertingkat pada Proses Pembekuan Daging Sapi Segar Menggunakan Metode Eksergi*. Disertasi. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Pham dan Willix. 1989. "Thermal Conductivity of Fresh Lamb Meat, Offal and Fat in the range of -40 to 30 °C: Measurement and Correlation". *Journal of Food Science*. Vol. 54. No. 3.
- Ruliyana, R. 2001. *Desain Mesin Pembeku Tipe Hembusan Udara (Air Blast Freezing) dan Tipe Kontak Plat (Contact Plate Freezing) untuk Proses Pembekuan Fillet Ikan Patin (Pangasius sp.)*. Skripsi. Departemen Teknik Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- Soeparno. 1994. "Ilmu dan Teknologi Daging". Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Tambunan, A.H., Priyanto S. dan Angraheni A.D. 2003. "Karakteristik dan Analisis Eksergi Pembekuan Ikan patin dan Ayam broiler". *Buletin Keteknikan Pertanian*. Vol (17)3 : 32-42.